



# Biosolar-Kombinationen : Erfahrungsberichte eines Ökologen

Patrice Prunier<sup>1</sup> , Julie Steffen<sup>1</sup> , Fabienne Mörch<sup>1</sup> und  
Julien Winkelman<sup>2</sup>

HEPIA - University of Applied Sciences of Western Switzerland

Services Industriels de Genève

Genf - 11. März 2025

*Bildnachweis: P. Prunier, J. Steffen und F. Mörch*

# *Der Kontext...*

Pädagogik

Hydrologie

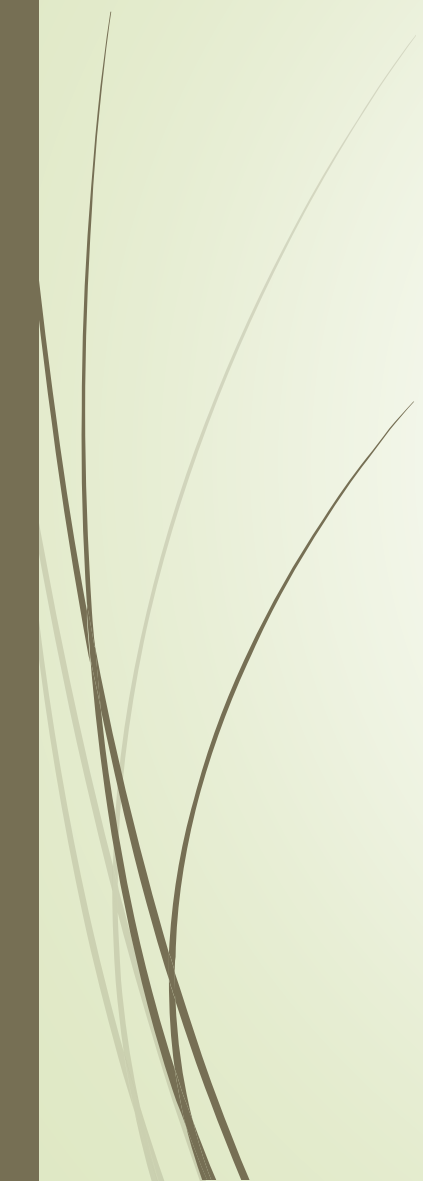
Energie

Biodiversität





# Ziel: Erkennen der Interessen und Grenzen verschiedener Fälle

- **Mono-Pan-Paneele oder Bodenkuppeln**
  - **Erhöhte Ein-Pan-Paneele**
  - **Erhöhte Kuppelpaneele**
  - **Erhöhte umgekehrte Kuppelpaneele ("Schmetterlinge")**
  - **Vertikale Paneele**
- 

# Methode

*Experimente mit  
Mischungen,  
Substrat, Dicke*

SEED < Lokale Blumen < Montoit

*Dächer  
Moose*

2015

BryoTOP

2021

2014

TVEG

*Diagnose  
Dächer*

2020

*Experimente mit  
Sonnenkollektoren*

2016

2017

2018

2019

2022

2023

2024

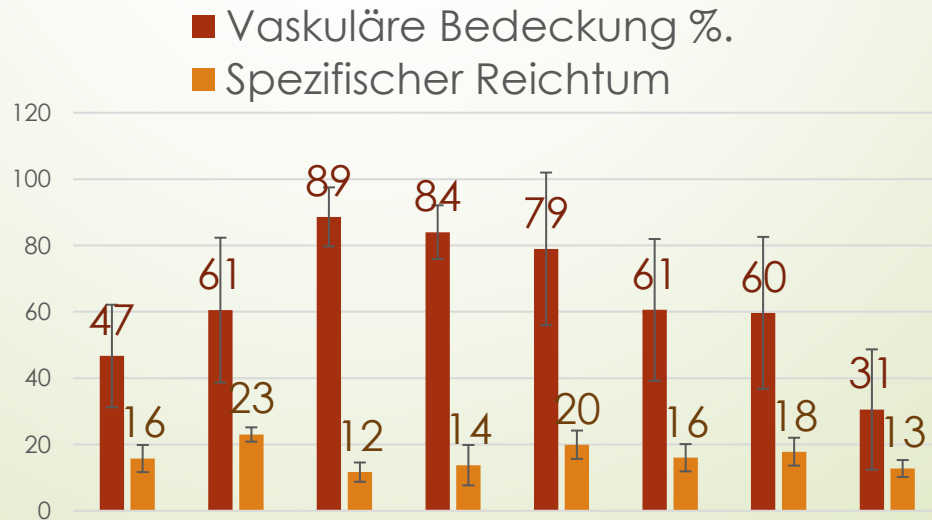
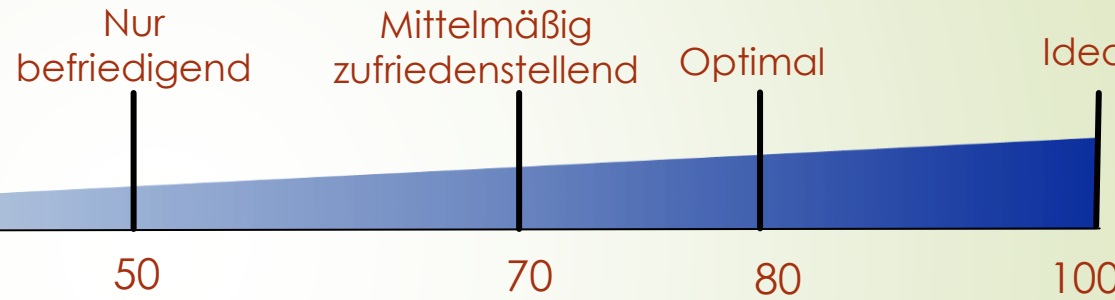
# Versuchsraum Dachbegrünung in Lullier (CH-GE)



# Bewertung der Ergebnisse (Referenz Vegetation)

7

Index Dach

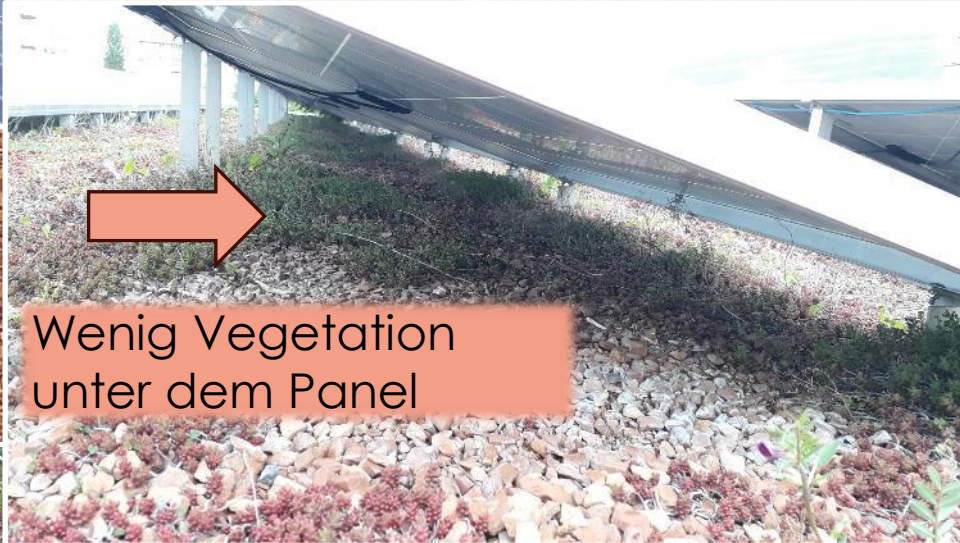




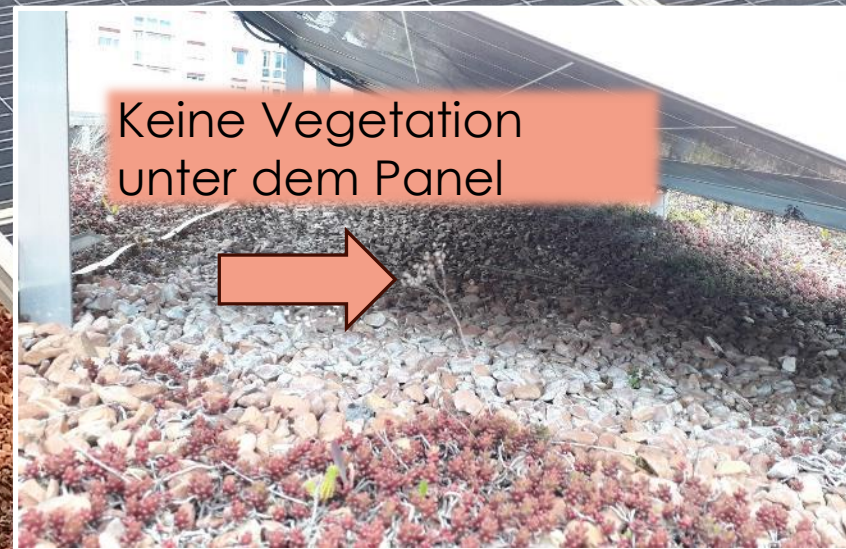
# **Mono-Pan-Paneele oder Bodenkuppeln**

*Zu den ersten Modellen - ex Beaulieu - Lausanne*





Wenig Vegetation unter dem Panel



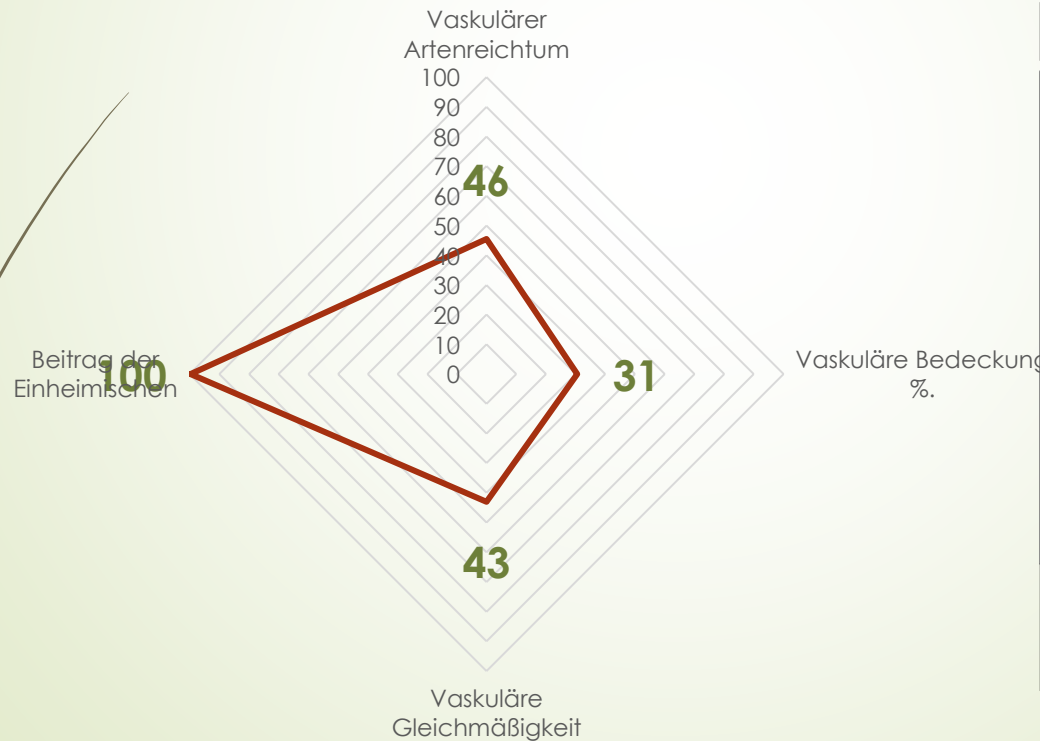
Keine Vegetation unter dem Panel



# Aspekt der Begrünung

Ein nur befriedigendes Dach

**Index 55**



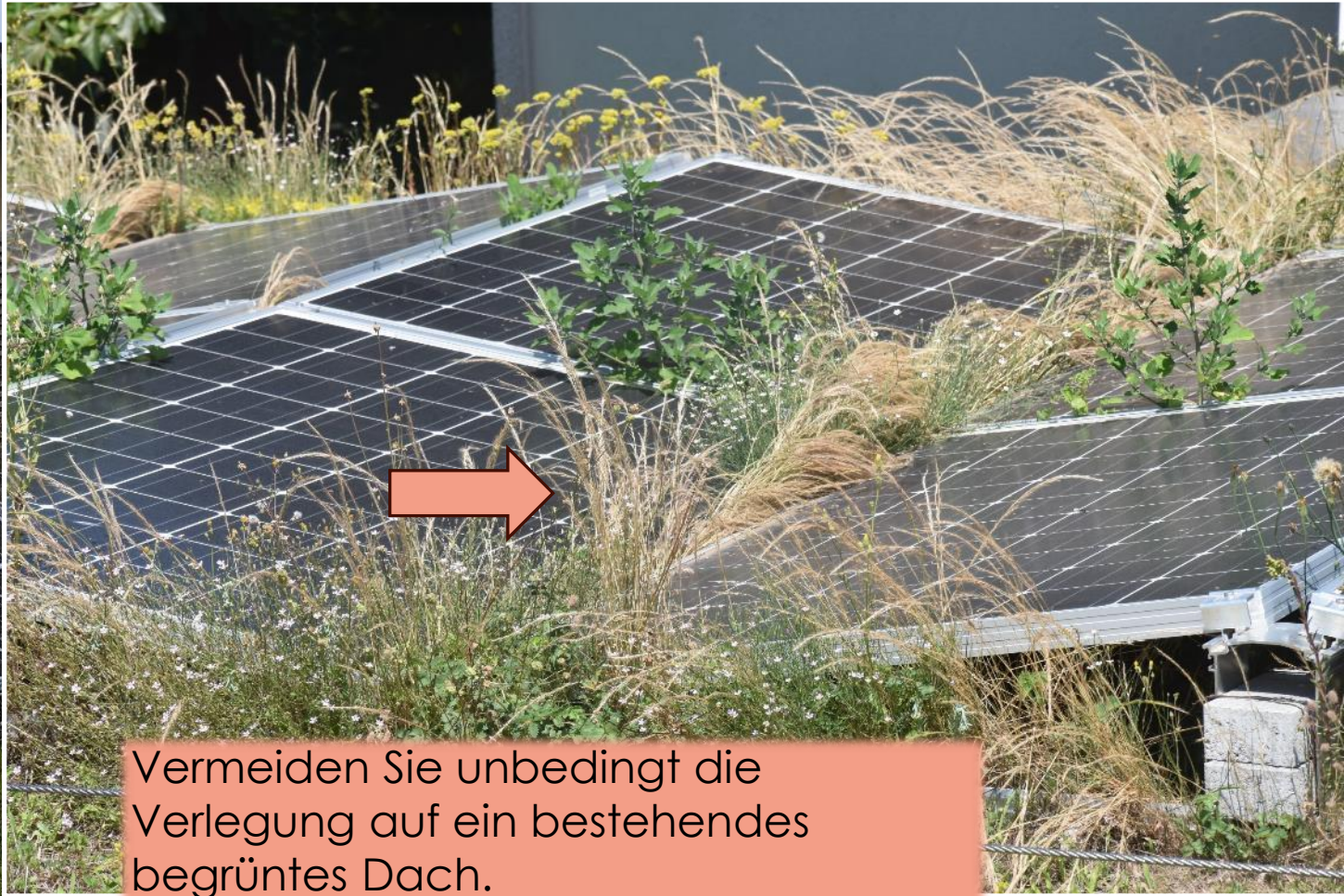
**Lancy (streichende Kuppeln)**



Streifende Kuppeln  
Dach extensive Vegetation  
Mineralisches Handelssubstrat

Schwierigkeiten im Unterhalt-  
Welcher Zugang?





Vermeiden Sie unbedingt die  
Verlegung auf ein bestehendes  
begrüntes Dach.  
-> Bodenstörungen wecken  
Pionierarten auf



# Thermische Aspekte

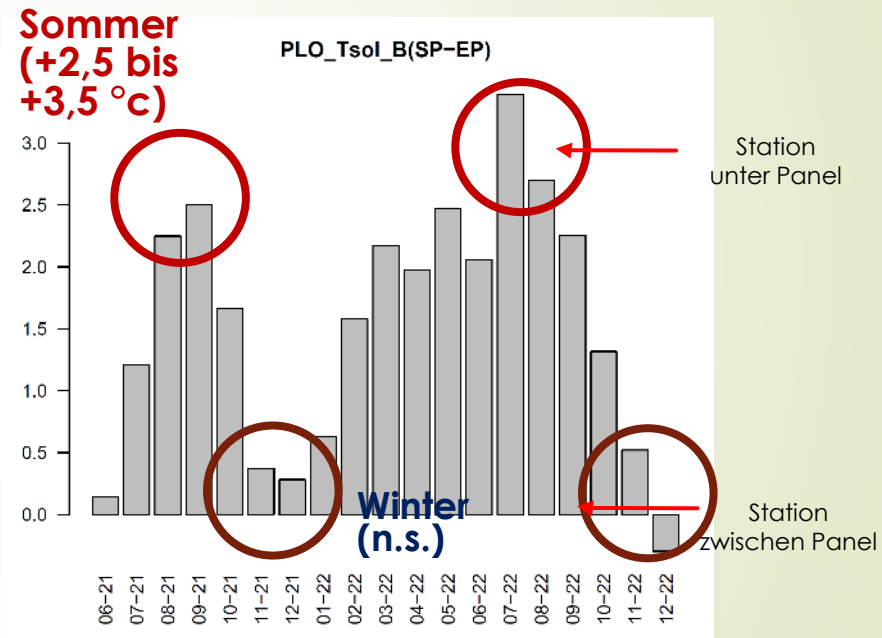
## ➤ Ein "Ofen"-Effekt unter den streifenden Kuppeln



Station  
zwischen  
Paneelen  
(EP)

Station  
Sub-Panel  
(SP)

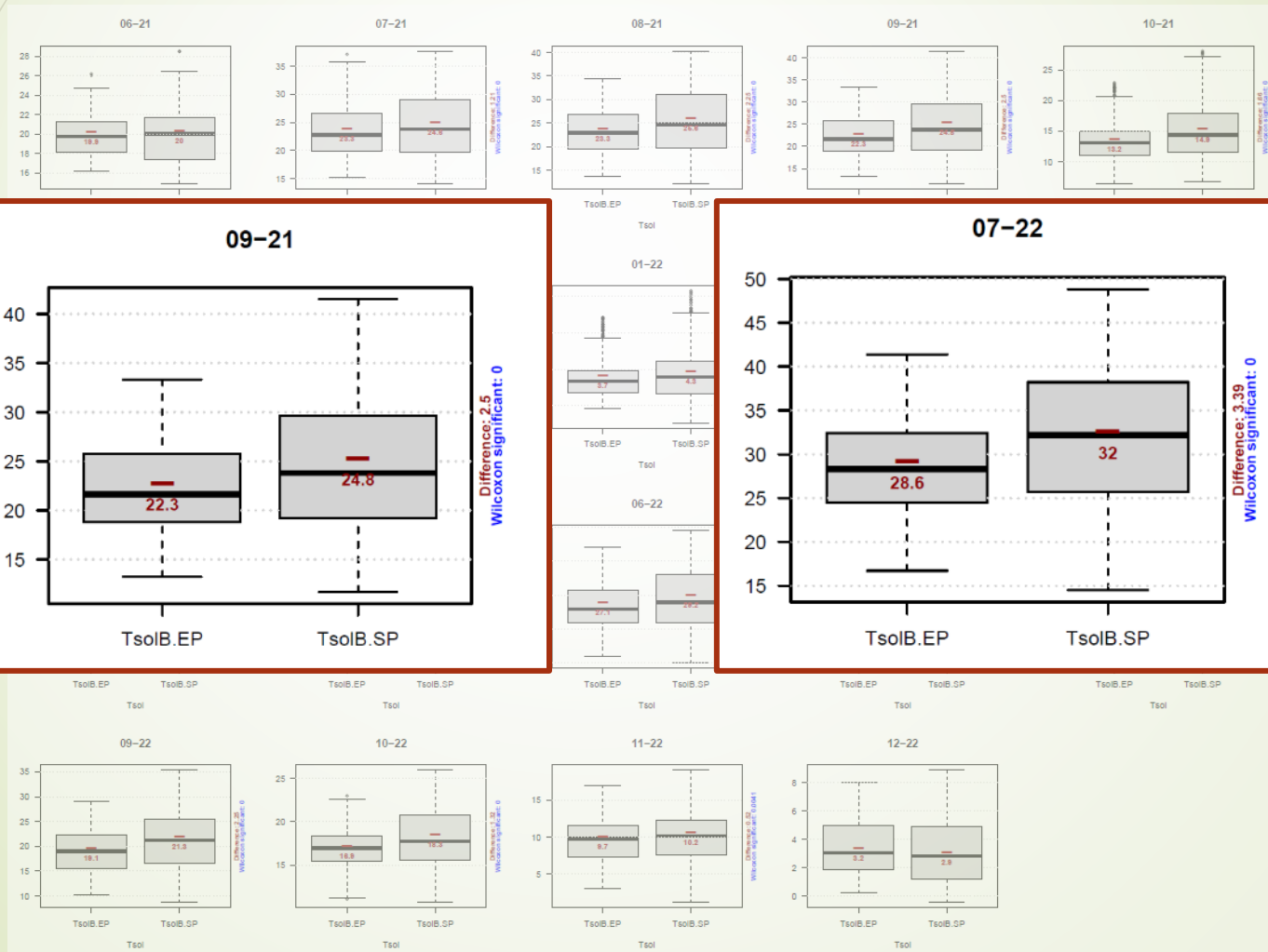
Standort Schule Pré-du-Camp



Abweichung der monatlichen Durchschnittstemperatur am Boden unter den Paneelen (SP) und zwischen den Paneelen (EP). Wilcoxon-Test signifikant, ausser im November und Dezember.

# Thermisches Erscheinungsbild Kuppeln, die an den Boden angelegt werden

- Pré-du-Camp - Auf den Boden aufgetragene Kuppeln
- Vergleich der monatlichen Durchschnittstemperatur unter und zwischen den Paneelen





# Schlussfolgerungen

- Sehr geringe Pflanzendecke unter den Paneelen
- Schwierigkeiten bei der Pflege, wenn die Paneele nahe beieinander stehen
- Produktionsverlust (vor allem bei der Anbringung auf einem bestehenden Gründach)
- Erhöhte Temperatur unter den Paneelen -> "Ofen-Effekt".



# **Erhöhte Kuppelpaneele**



18

*Versuchsfläche begrünte Dächer von Lullier*



September 2022 (n+2)





Oktober 2021 (n+1)



Septembre 2022 (n+2)

# Aspekt der Begrünung

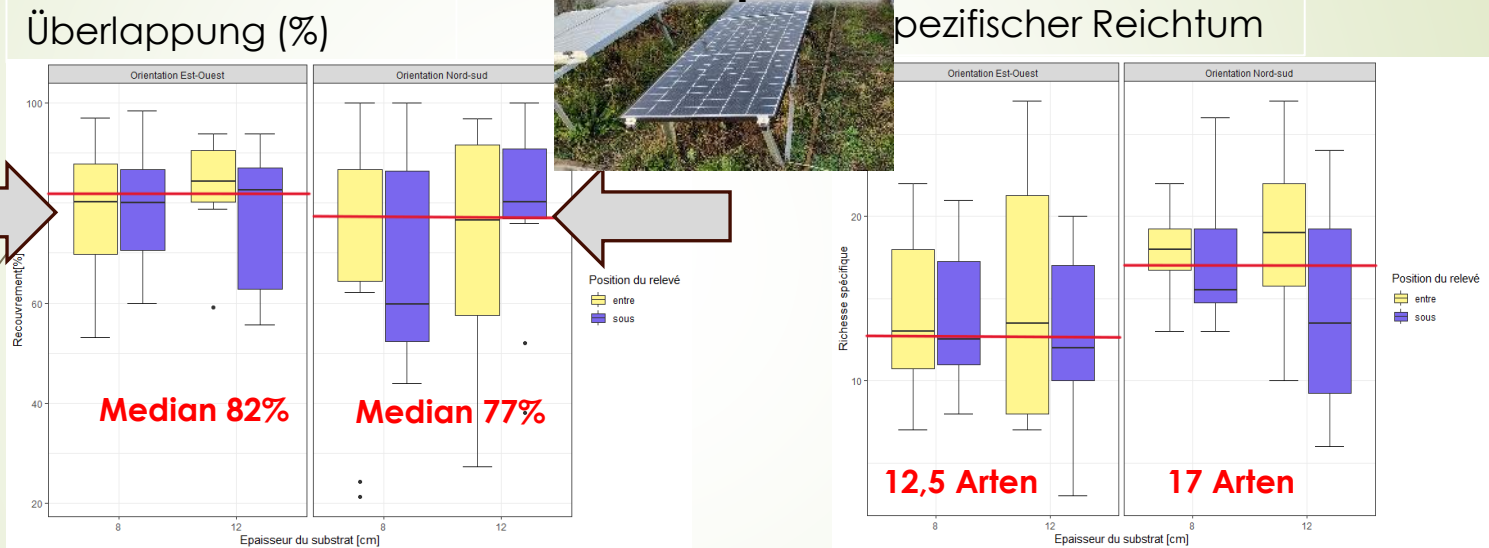
- ▶ PLANETE-Projekt - Standort Lullier
- ▶ Vergleich der Vegetationsbedeckung und des Artenreichtums bei erhöhten Kuppel- und Monopan-Modulen (n = 3 Jahre)



Domes



Monopan

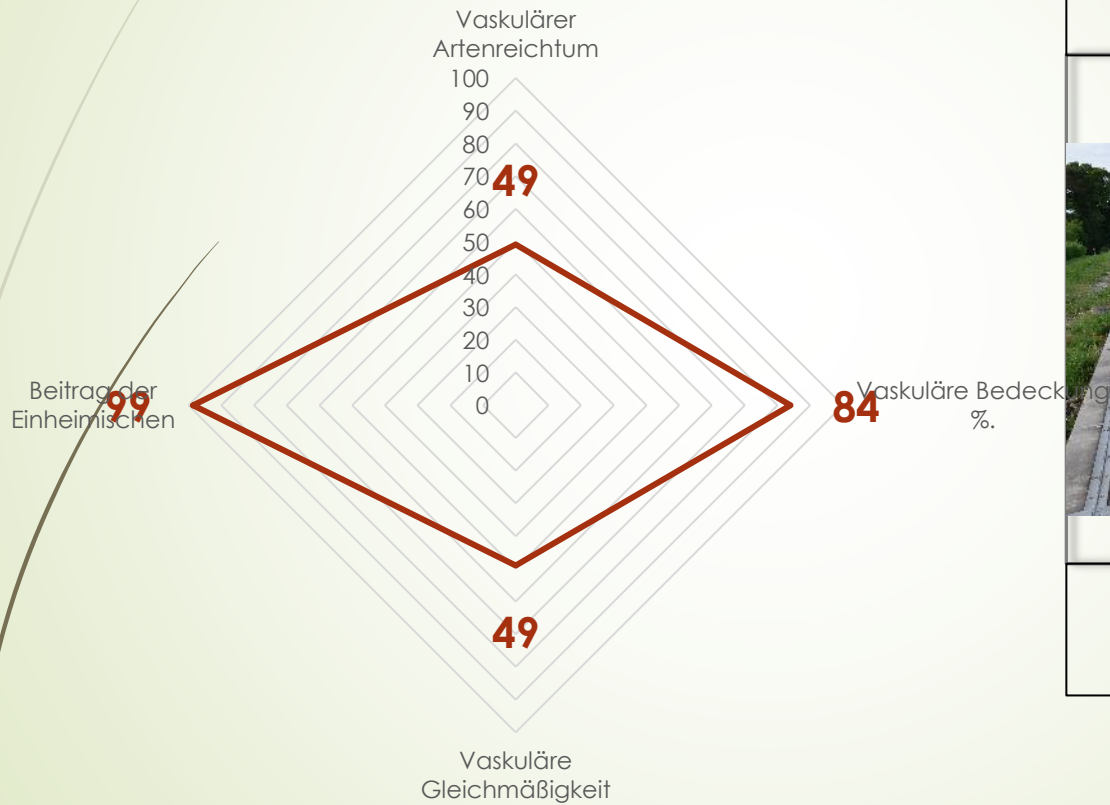


- Höhere Gesamtüberdeckung bei der erhöhten Kuppelkonfiguration (nicht signifikant  $P = 0.12$ )
- Höherer durchschnittlicher Artenreichtum bei der Einbeinkonfiguration ( $P = 0,002$ )

# Aspekt der Begrünung

Ein nur befriedigendes Dach

**Index 70,3**



## 4. Lullier (erhöhte Kuppeln)



Erhöhte Kuppeln  
Dach extensive Vegetation  
Mineralisches Handelssubstrat

# Thermischer Aspekt

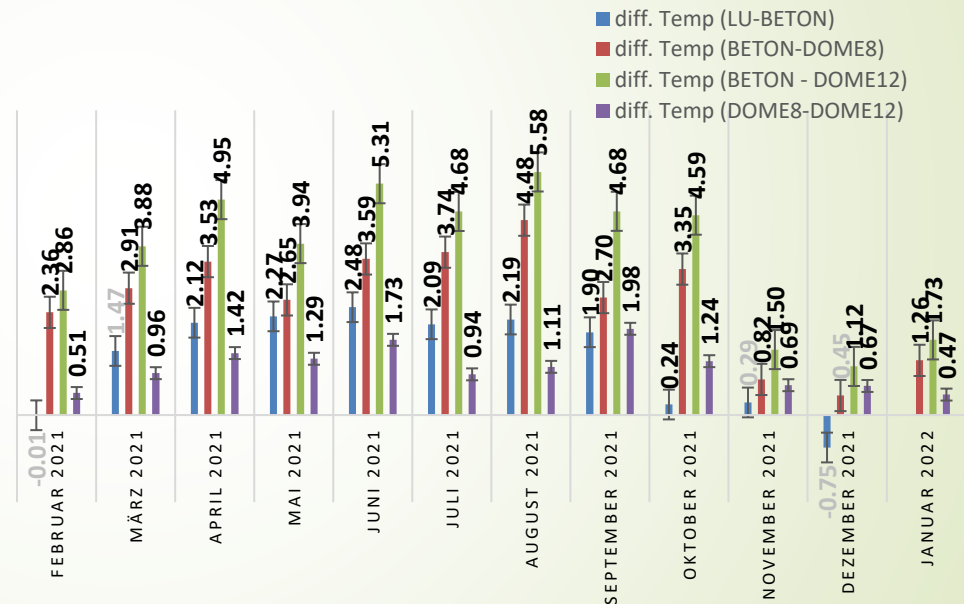
- ▶ PLANETE Standort Lullier - Vergleich der monatlichen Durchschnittstemperaturen unter den Paneelen in erhöhten Kuppeln
  - ▶ Im Vergleich zu einer Kontrolle auf Beton in voller Sonne (LU).
  - ▶ Im Vergleich zu einem bepflanzten Substrat

Rohsubstrat ( $T^\circ$  Beton unter Platte vs.  $T^\circ$  Beton in voller Sonne)

- bis zu **-2,5 °C**

Begrüntes Substrat vs. kein Substrat (Beton):

- Bis zu **-4,5 °C** bei 8cm Substrat
- Bis zu **-5,6 °C** bei 12cm Substrat

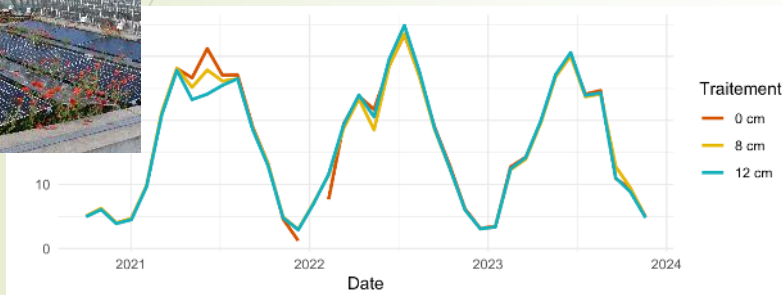


- **Signifikanter Effekt der Senkung der monatlichen Durchschnittstemperatur durch die Beschattung der Paneele (von 2,5 auf 5,6 °C)**
- **Effekt wird durch das Vorhandensein eines bepflanzten Substrats verstärkt.**

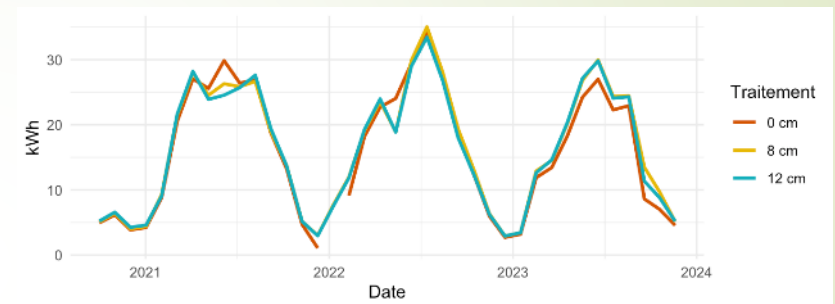
# Aspekt der Stromerzeugung

## PLANETE-Projekt Standort Lullier - Erhöhte Kuppeln

Ertrag monokristalline Paneele Ausrichtung EST



Ertrag monokristalline Paneele Ausrichtung WEST



- Vegetationseffekt insgesamt positiv auf Produktion +3,4%
- Grösser bei westlich orientierten Paneelen (+ 5,4 %) als bei östlich orientierten (+ 1,3 %)



# Schlussfolgerungen - Erhöhte Kuppeln

- ▶ Pflanzendecke gefördert (82 %), aber wenig vielfältig (12 Sp.) -> nur befriedigend
- ▶ Signifikanter temperatursenkender Effekt (-2,5 °C), am stärksten bei dickem Substrat (-5,6 °C bei 12 cm)
- ▶ Leichter Anstieg der Produktion (+ 3,4 %), vor allem in der Westausstellung (+ 5,4 %)
- ▶ Schwierige Pflege aufgrund der Nähe zu den Paneelen



# Monopan-Paneele



Mai 2021 (n+1)



Oktober 2021 (n+1)



November 2022 (n+2)



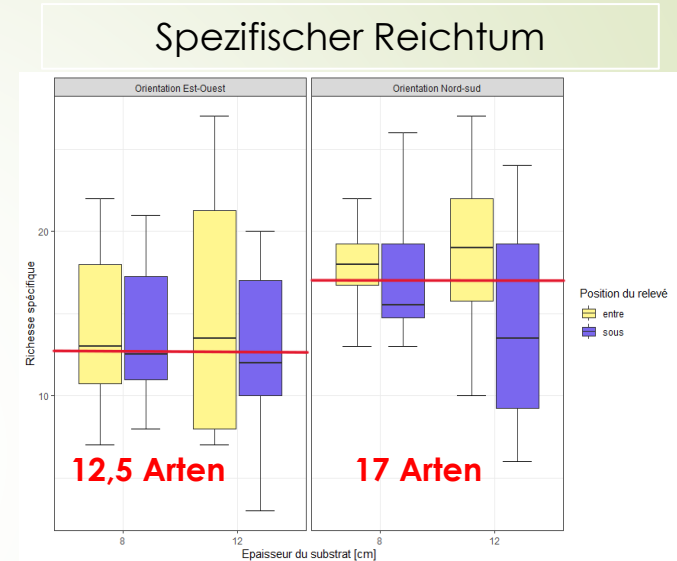
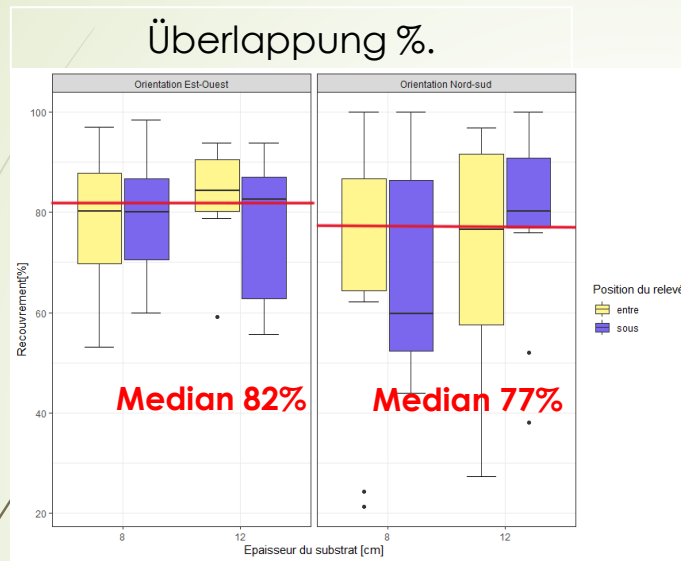
Im Jahr 2023 (Jahr n+2): Es hat sich eine kurzrasige Vegetationsdecke entwickelt, die von Feldklee dominiert wird.



Im Jahr 2024 (Jahr  $n+3$ ): Die flache Vegetationsdecke bleibt erhalten.

# Aspekt der Begrünung

▶ PLANETE-Projekt Standort Lullier



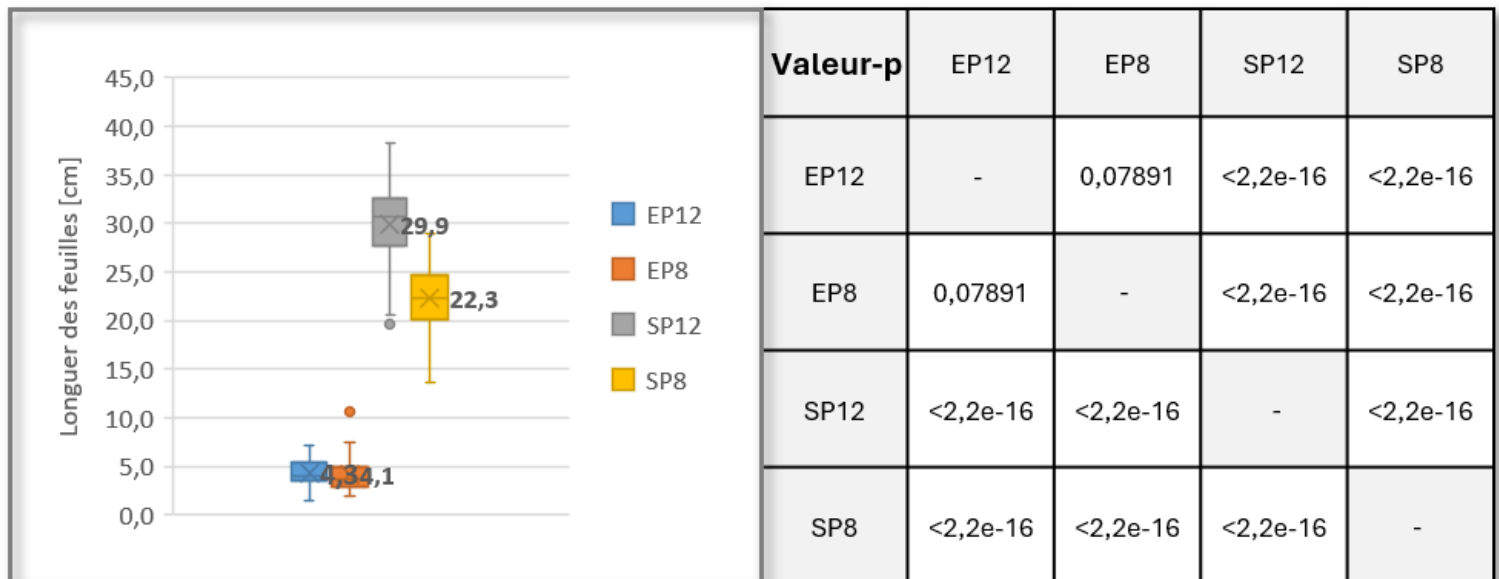
- Höhere Gesamtüberdeckung bei der erhöhten Kuppelkonfiguration (nicht signifikant  $P = 0.12$ )
- Höherer durchschnittlicher Artenreichtum bei der Einbeinkonfiguration ( $P = 0,002$ )

# Aspekt der Begrünung

- PLANETE-Projekt Standort Lullier - erhöhter Monopan



**Auswirkung des Mikroklimas im Winter und Frühling** auf das Pflanzenwachstum (Jahr n) -> Mohnblumenblätter sind unter den Paneelen viel länger.





# Thermischer Aspekt

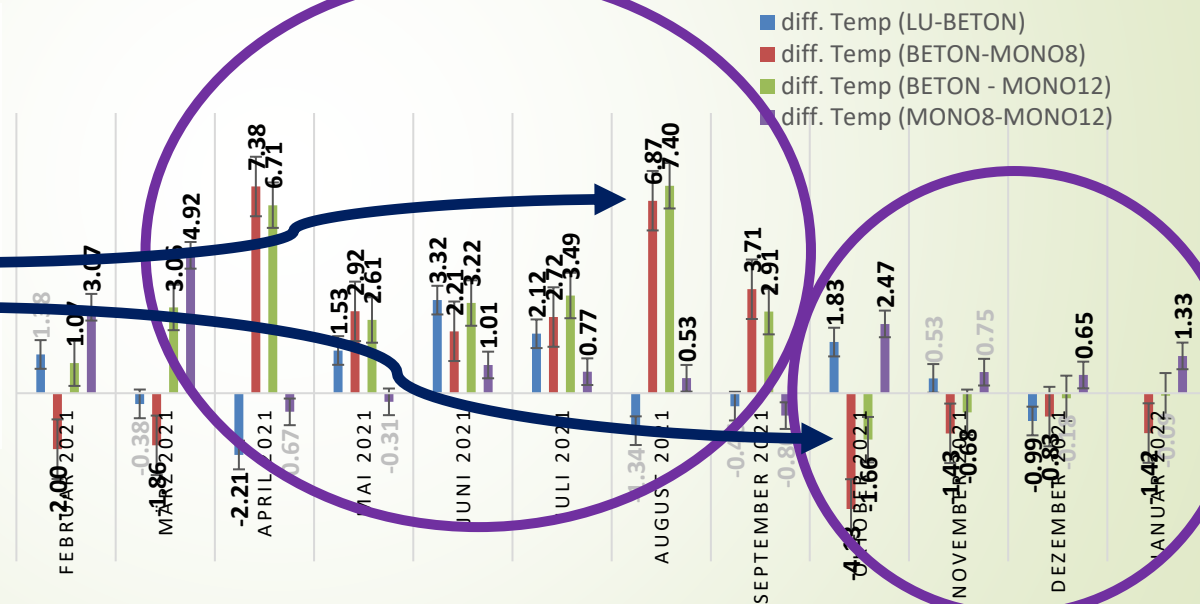
- ▶ PLANETE-Projekt Standort Lullier - Vergleich der Durchschnittstemperaturen unter erhöhten Monopan-Paneelen
  - ▶ Im Vergleich zu einer Kontrolle auf Beton in voller Sonne (LU).
  - ▶ Im Vergleich zu einem bepflanzten Substrat

## Beton vs. ohne Platte

- Bis zu **-3,3°C** im Sommer
- Bis zu **+1°C** im Winter

## Begrüntes Substrat versus rohes Substrat (Beton):

- Bis zu **-7,4°C** im Sommer
- Bis zu **+4,1°C** im Herbst und **+2°C** im Winter



Da die Paneele in einem gewissen Abstand zueinander stehen, gibt es einen kontrastierenden Effekt auf die Bodentemperatur :

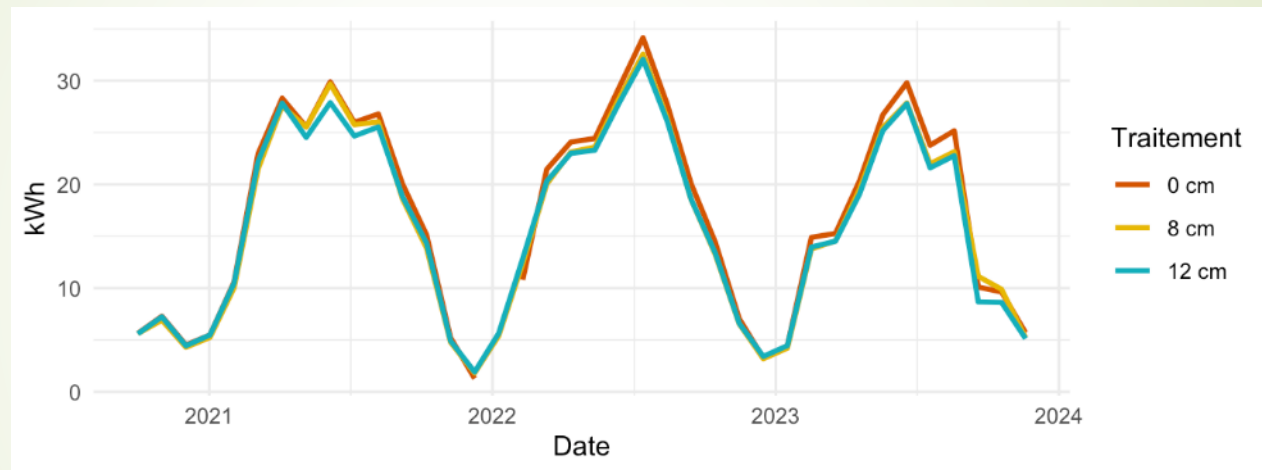
- Temperatursenkung nur in der Sommerperiode
- Zunahme in der Winterzeit durch Streiflicht
- Die Anwesenheit des Pflanzensubstrats verstärkt diesen Kontrast



Inzidenz der Sonnenstrahlung am 28. März 2022

# Aspekt der Stromerzeugung

## PLANETE-Projekt Standort Lullier



### Ertrag Monopan-Solarmodule bifazial

- **Vegetationseffekt leicht negativ** auf die Produktion -2,4% (N = 3 Jahre)



# Schlussfolgerungen - Monopan

- ▶ Pflanzendecke ziemlich begünstigt (77%), vielfältig (17 Sp.)
- ▶ Signifikante temperatursenkende Wirkung in der Sommerperiode (-1,5°C auf Rohbeton bis -9°C bei 12 cm Substrat) / Situation bei vollem Licht
- ▶ Signifikante Wirkung der Temperaturerhöhung in der Herbstzeit (+1°C bis +4°C bei 12 cm Substrat) / Volllicht-Situation -> erleichtert das Pflanzenwachstum
- ▶ Leichter Produktionsverlust (-2,5 %)
- ▶ Einfache Wartung aufgrund des Abstands zwischen den Paneelen



# **Erhöhte Paneele in umgekehrten Kuppeln**

Schule Champs-Joly in Plan-Les-Ouates  
(Projekt PV-Plantagen)



Februar  
2021

Einfache Pflege



Vegetation unter dem Panel

Mai 2021

# Aspekt der Begrünung

44

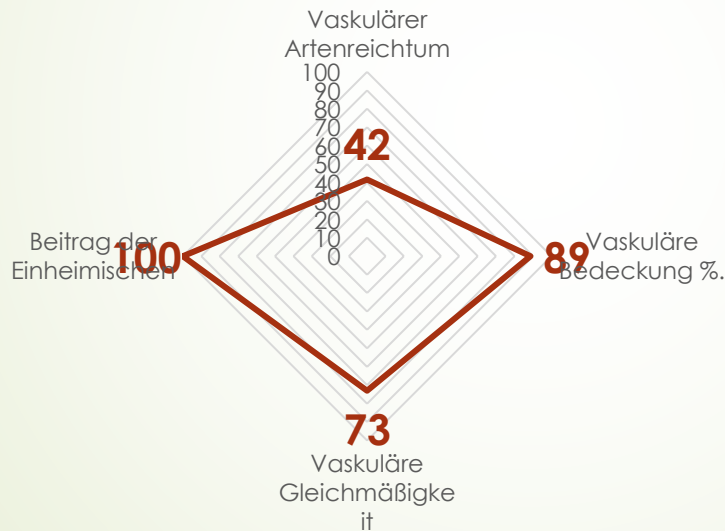
- Raum für Vegetation
- Vielfältige Mischungen (Typ Trockenwiese, 45 Sp)
- Mittlere Substratdicken (15-20 cm)

**Index 76**

**Dach Grand-Saconnex (umgekehrte Kuppeln)**



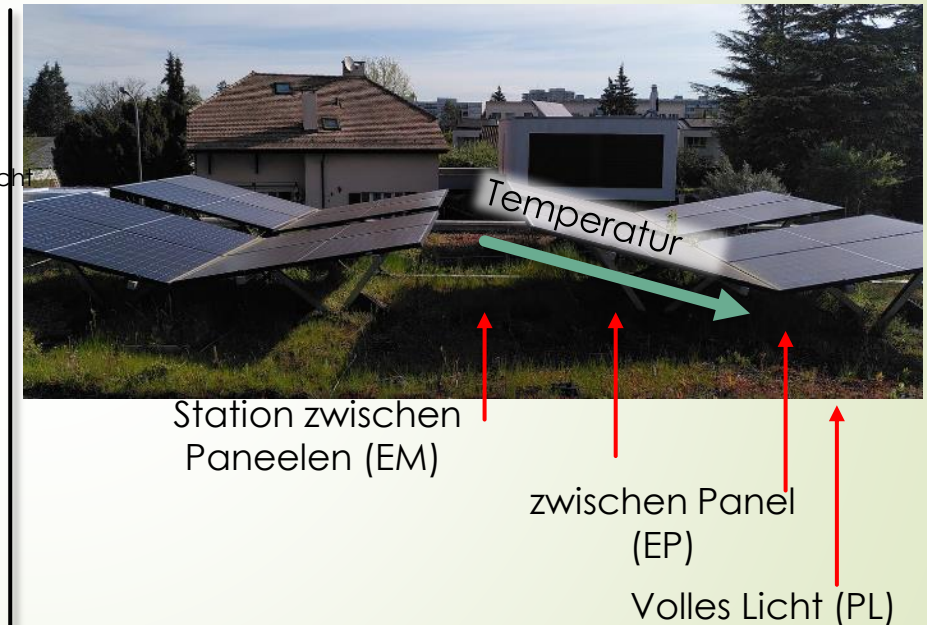
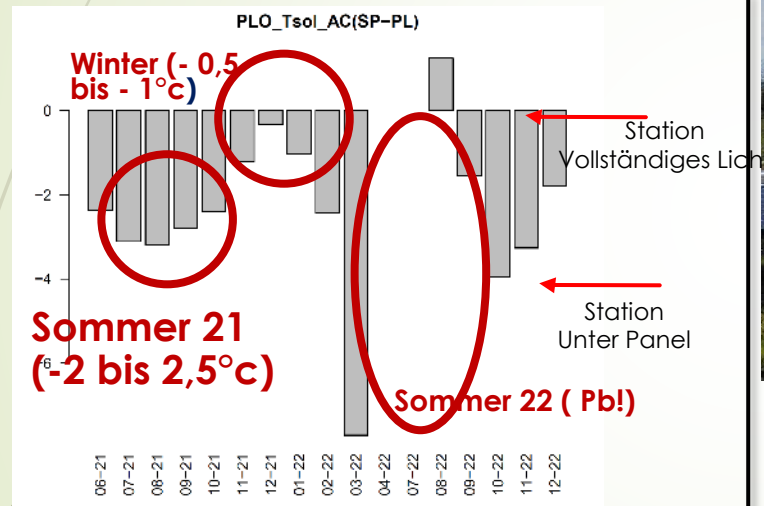
Umgekehrte Kuppeln  
Dach halbintensive Vegetation (14-20 cm)  
Organisches "maßgeschneidertes" Substrat




# Thermischer Aspekt

## ► Projekt PV Plantes Champs Joly - Umgekehrte Kuppeln

Abweichung zwischen der monatlichen Durchschnittstemperatur am Boden unter den Paneelen (SP) und bei vollem Licht. Signifikante Wilcoxon-Tests.



- Effekt "thermische Dämpfung" durch Beschattung der Paneele
- Temperatur Volllicht > Zwischen den Paneelen > Subpaneele > Zwischen den Paneelen



## Schlussfolgerungen - Umgekehrte erhöhte Kuppeln

- Pflanzendecke gefördert (90%).
- Signifikante temperatursenkende Wirkung im Sommer unter den Paneelen - Starke Belüftung (-2 bis -2,5°C auf / Volllicht-Situation mit Substrat).
- Einfache Wartung aufgrund des Abstands zwischen den Paneelen und der Höhe der Paneele



# **Vertikale Paneele (Projekt PV-Plantes - Lullier)**



Oktober 2021 (n-  
Aussaat im März)



Mai 2022 (n+1)



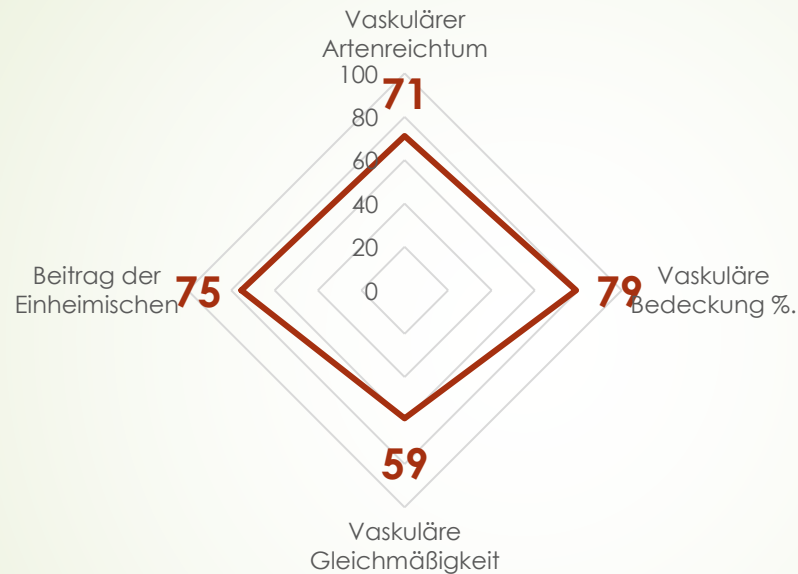
Juni 2023 (n+2)



Juni 2024 (n+3)

# Aspekt der Begrünung

**Index 71**



- Raum für Vegetation
- Vielfältige Mischungen (Typ Trockenwiesen, 45 Sp)
- Hohe Substratdicken (20-35 cm)

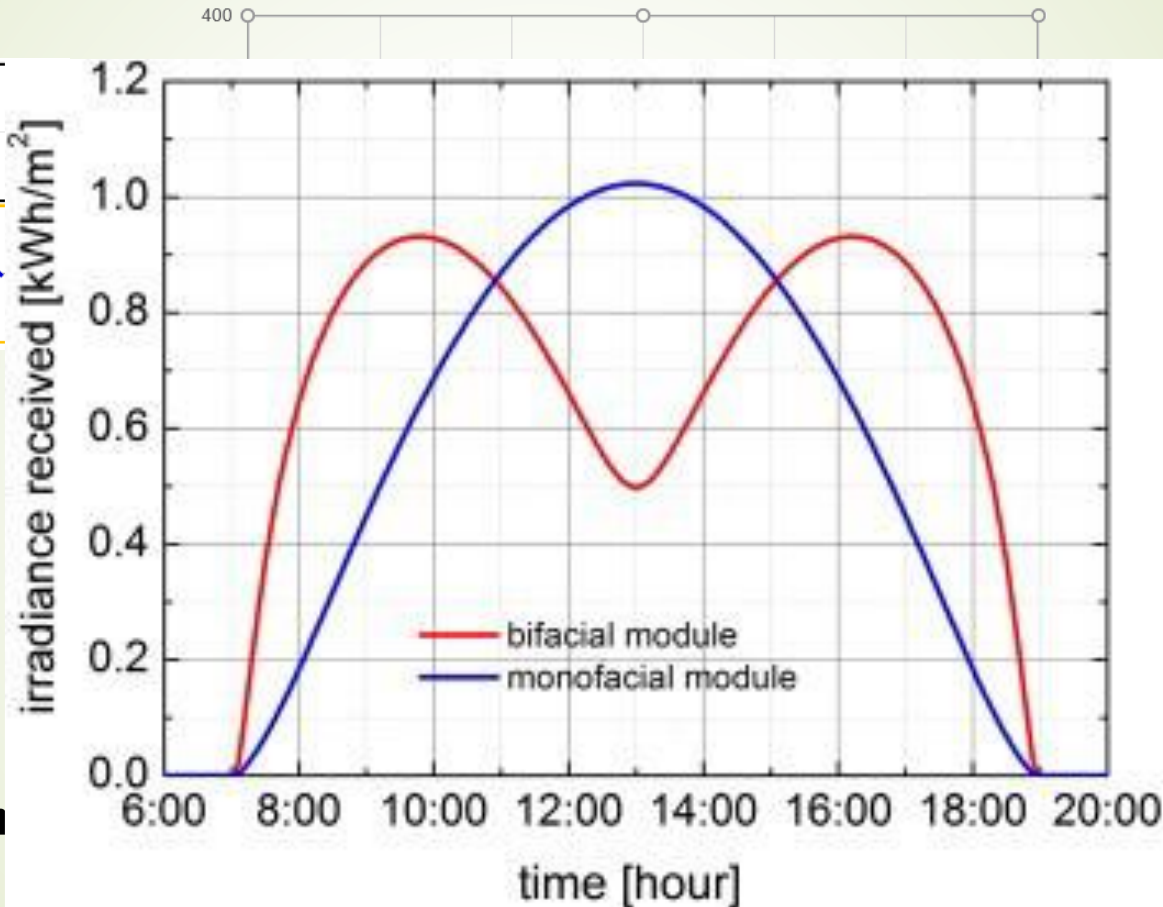
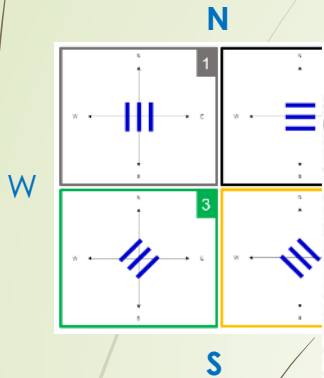
## 5. Lullier (vertikale Paneele)



Vertikale Paneele  
Dach halbintensive Vegetation  
Organisches "maßgeschneidertes"  
Substrat

# Produktionsaspekt

## Simulationen



**Beobach**

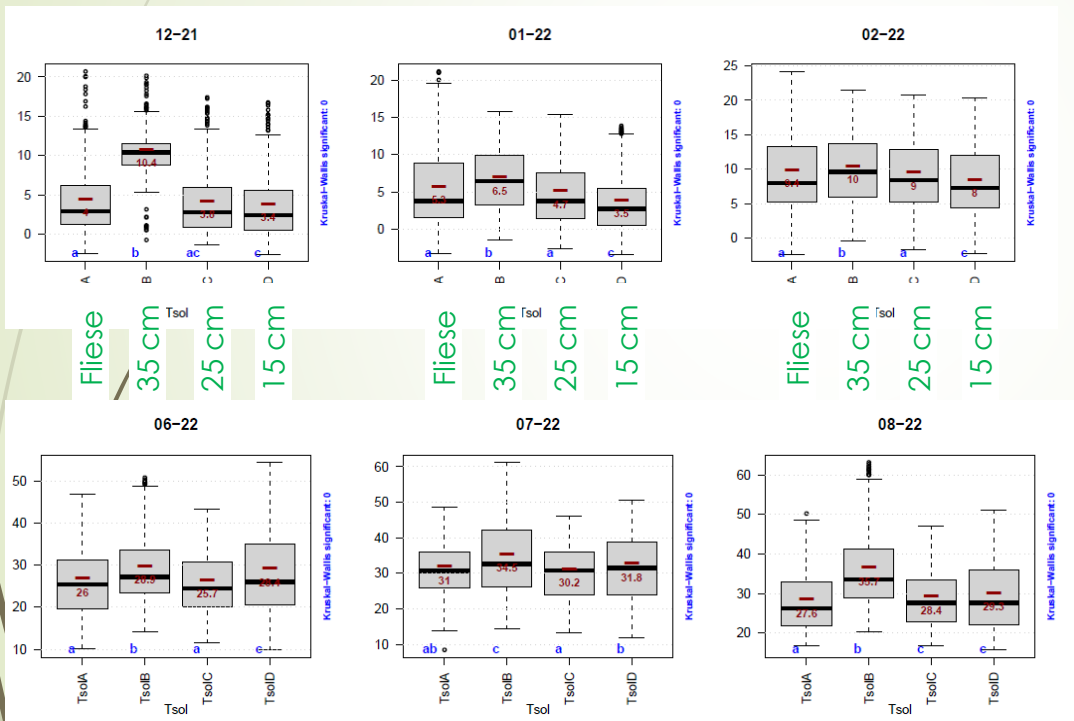
→ Eine Ausrichtung nach Südosten (3) ermöglicht die beste Produktion pro Panel und pro Bodenfläche!

# Thermischer Aspekt

- ▶ PV Anlage Lullier - Vertikale Paneele - Temperatur an der Bodenoberfläche

Die Platte (A) wärmer im Winter, aber nicht im Sommer. Schatteneffekt?

Dicke hat keinen Einfluss auf die Temperatur; Kompostierungseffekt bei 35 cm?





# Allgemeine Schlussfolgerungen

- ▶ Viele Möglichkeiten
- ▶ Ziele gut definieren und vereinbaren
- ▶ Suche nach einem Gleichgewicht zwischen den Funktionen
- ▶ Bedeutung der Erhöhung und des Abstands zwischen den Paneelen (Abschwächung von Wärmespitzen, Förderung der Artenvielfalt, einfache Wartung)
- ▶ das Aufstellen von Streifenkuppeln (am Boden) vermeiden
- ▶ Vielfältige Mischungen und lokale Recyclingsubstrate (wenn möglich > 15 cm)
- ▶ Das Gespräch planen